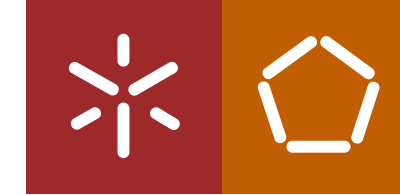


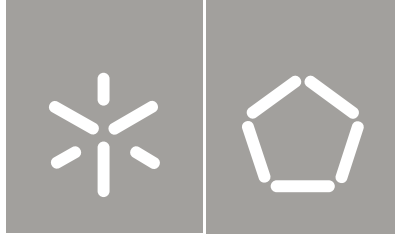


Fábio António Afonso Ferreira

Optimização de rotas dos veículos
de uma empresa revendedora de
materiais de construção

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Fábio António Afonso Ferreira

Optimização de rotas dos veículos
de uma empresa revendedora de
materiais de construção

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Filipe Alvelos

Agradecimentos

Embora a presente dissertação seja de carácter individual, existem pessoas que devem ser realçadas pela disponibilidade e ajuda que ofereceram durante todo o projeto.

Gostaria de expressar os meus maiores agradecimentos ao meu orientador na empresa Casa Peixoto, Sr. Alberto Miranda, por toda a orientação, disponibilidade, incentivo e confiança que demonstrou no meu trabalho, fazendo com que nunca desistisse e tentasse sempre melhorar o meu desempenho na empresa, o que me fez evoluir a nível profissional.

Queria expressar os meus agradecimentos aos restantes membros da empresa que me ajudaram e apoiaram em todos os momentos, principalmente o administrador José Peixoto, por toda a ajuda e a confiança que depositou neste projeto.

Redijo iguais agradecimentos à empresa Casa Peixoto pelas condições de trabalho fornecidas.

Gostaria de agradecer também, ao programador Ricardo Silva do Instituto Politécnico de Viana do Castelo por toda a ajuda na conceção do programa informático desenvolvido nesta dissertação.

Ao professor Filipe Alvelos, os meus sinceros agradecimentos, por toda a orientação, disponibilidade e apoio dados nesta dissertação, sem a sua orientação não seria possível obter um resultado tão positivo.

Por último um especial agradecimento à minha família por todo o apoio e confiança durante o Mestrado e principalmente durante esta dissertação.

A todos, Muito Obrigado.

Resumo

A presente dissertação de mestrado descreve o desenvolvimento de um projeto em empresa, a Abílio Rodrigues Peixoto e Filhos SA, normalmente apelidada de Casa Peixoto. O principal objetivo desta dissertação é a resolução de problemas do sistema de distribuição da empresa.

Para isso, o problema da distribuição foi modelado como um problema de encaminhamento de veículos (Vehicle Routing Problem) e foi desenvolvido um algoritmo que consiste numa adaptação do algoritmo de Clarke and Wright, minimizando o custo total de um conjunto de rotas satisfazendo todas as encomendas.

As três principais modificações do algoritmo desenvolvido em relação ao algoritmo de Clarke and Wright são (i) a consideração de períodos de entrega, (ii) a consideração de uma frota heterogénea e (iii) a inclusão de uma restrição que limita a duração de qualquer rota.

O algoritmo desenvolvido foi implementado e as suas soluções foram comparadas com as soluções atuais da empresa, tendo-se verificado uma poupança significativa e estimando-se o aumento do nível de serviço.

Palavras Chave:

Encaminhamento de veículos, Períodos temporais, Frota heterogénea

Abstract

This dissertation describes the development of a project company, Abilio Rodrigues Peixoto & Filhos SA, commonly known as Casa Peixoto. The main objective of this dissertation is to improve the distribution system of the company.

With this purpose, distribution problem was modeled as a Vehicle Routing Problem and an algorithm was developed which consists of an adaptation of the Clarke and Wright algorithm, minimizing the total cost of a set of routes satisfying all orders

The three main differences to the Clarke and Wright algorithm are (i) the consideration of periods of delivery, (ii) the consideration of an heterogeneous fleet, and (iii) an additional constraint stating the maximum length of any route.

The proposed algorithm has been implemented and their solutions compared with the current solutions of the company. A significant saving in costs and an estimated increase of the service level were observed.

Key Words

VRP, Time Windows, Heterogeneous Flet

Índice

| | |
|--|------|
| Agradecimentos..... | i |
| Resumo | iii |
| Abstract..... | iv |
| Índice..... | v |
| Índice de Figuras | vii |
| Índice de Tabelas | viii |
| 1 - Introdução | 1 |
| 1.1 - A importância da logística | 1 |
| 1.2 - A importância da distribuição..... | 2 |
| 1.3 - Descrição da Casa Peixoto e do seu sistema de Distribuição | 2 |
| 1.4 - Guia da dissertação..... | 3 |
| 2 - Revisão da Literatura | 5 |
| 2.1 - Problemas de encaminhamento de veículos..... | 5 |
| 2.2 - Variantes do VRP | 8 |
| 2.2.1 - VRP com veículos capacitados..... | 8 |
| 2.2.2 - VRP com Janelas Temporais | 9 |
| 2.2.3 - VRP com retorno..... | 10 |
| 2.2.4 - VRP com entregas e recolhas | 10 |
| 2.2.5 - Visão geral das variantes do VRP..... | 11 |
| 2.3 - Métodos de solução de VRP | 13 |
| 2.3.1 - Heurísticas construtivas..... | 14 |
| 2.3.2 - Algoritmos de inserção sequencial | 20 |
| 2.3.3 - Heurísticas em duas fases..... | 23 |
| 3 - Definição do Problema | 25 |
| 3.1 - Sistema de Distribuição da Casa Peixoto | 25 |
| 3.1.1 - Descrição..... | 25 |
| 3.1.2 - Desvantagens do sistema atual | 27 |
| 4 - Algoritmo de Clarke and Wright modificado | 31 |
| 4.1 - Descrição..... | 31 |
| 4.2 - Exemplo | 33 |
| 4.3 - Comparação com solução da empresa..... | 44 |

| | |
|--------------------------------|----|
| 5 - Programa Informático | 47 |
| 6 - Conclusão | 53 |
| Bibliografia..... | 55 |
| ANEXOS | 57 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Início VRP simples | 6 |
| Figura 2 – Resultado VRP simples | 6 |
| Figura 3 - Conexões básicas do VRP..... | 11 |
| Figura 4 - Situação inicial Clarke and Wright | 15 |
| Figura 5 - Situação final Clarke and Wright..... | 15 |
| Figura 6 - Situação inicial do exemplo Clarkee and Wright | 16 |
| Figura 7- Solução do exemplo..... | 20 |
| Figura 8 - Mapa atual do sistema de distribuição..... | 27 |
| Figura 9 - Repartição "Camiões" do programa | 47 |
| Figura 10 - Repartição "Definições" do programa | 48 |
| Figura 11 - Repartição "zonas" do programa..... | 50 |
| Figura 12 - Repartição "rotas" do programa..... | 51 |

Índice de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Matriz de Distâncias do exemplo (em Km)..... | 17 |
| Tabela 2 - Encomendas exemplo (em Kg) | 17 |
| Tabela 3 - Matriz de Poupanças do exemplo (em Km)..... | 18 |
| Tabela 4 - Poupanças por ordem decrescente do exemplo | 18 |
| Tabela 5 - Encomendas dia 22 de Março | 33 |
| Tabela 6 - Matriz das Distâncias dia 22 Março | 35 |
| Tabela 7 - Matriz das Poupanças de dia 22 de Março..... | 36 |
| Tabela 8 - Poupanças por ordem decrescente de dia 22 de Março..... | 36 |

1 - Introdução

1.1 - A importância da logística

Nos dias de hoje a logística é um conceito chave nas empresas/organizações. As empresas procuram ser mais competitivas, procuram ter desenvolvimento tecnológico, ter maior variedade de produtos/serviços, etc. Para que isto seja possível, procuram reduzir os custos ao máximo sem por em causa a qualidade dos serviços/produtos. É aqui que entra a logística.

Inicialmente a logística estava associada apenas ao transporte e armazenamento de artigos, hoje em dia a logística é o ponto mais importante de toda a cadeia da empresa. A logística pode ser entendida como todo o processo de planejar, controlar e implementar de forma eficiente todo o fluxo de materiais, serviços e informações associadas, com o objetivo de satisfazer todos os requisitos do Cliente *(Novaes 2004)*.

De acordo com Novaes (2004), a logística contempla alguns fatores, tais como:

- A visão integrada de todos os processos da empresa, se isto não existir, os vários departamentos da empresa irão trabalhar de forma isolada o que poderá criar conflitos e desorganização que por consequência tornará a empresa menos competitiva.
- A rapidez com que a informação e os materiais circulam dentro da empresa.
- Fazer com que os fornecedores, colaboradores e clientes fiquem internamente interligados, para que o processo flua sem problemas. Para isto é necessário estar atento às necessidades e expectativas de todos eles.
- A globalização e a importância de reduzir custos na armazenagem e na distribuição são os principais pontos onde a maior parte das empresas deveriam atuar para se tornarem mais competitivas.

1.2 - A importância da distribuição

A distribuição consiste em todos os processos operacionais e de controlo que permitem a transferência de produtos desde um depósito até ao cliente. Com isto os responsáveis pela distribuição nas empresas atuam com elementos tais como: depósitos, stock, equipamentos de carga, equipamentos de descarga, entre outros *(Novaes 2004)*.

Hoje em dia um dos principais desafios das empresas é a redução de custos em toda a distribuição. Para que isto seja possível é necessário conhecer muito bem o processo, ou seja, ser capaz de perceber como funciona e quais os meios disponíveis para o realizar. Esta é uma das áreas onde a maior parte das empresas tem lacunas, mesmo empresas de grande porte, bem cotadas no mercado.

Os principais elementos do processo de distribuição são o Fornecedor, o Produtor e o Cliente. Estes três elementos afetam todo o sistema logístico da distribuição, pois qualquer um deles tem uma cota grande na distribuição. O Cliente tem as suas necessidades que mudam consoante o Tempo e o Produtor, o Fornecedor tem que ser capaz de se adaptar a essas necessidades e através da utilização de uma boa logística satisfazê-las tanto a nível de qualidade do produto como no tempo de entrega exigido. O cliente é a chave de todo o processo logístico, pois é a partir das suas necessidades que todo o processo é criado.

O principal objetivo das empresas na distribuição é a entrega dos materiais certos, no momento certo aos clientes certos, com a qualidade desejada pelo cliente com o menor custo possível.

1.3 - Descrição da Casa Peixoto e do seu sistema de Distribuição

A Casa Peixoto comercializa e distribui materiais de construção desde há mais de 30 anos, sendo uma referência no seu sector de atividade: pelos seus serviços personalizados, pela sua oferta abrangente e pelas soluções inovadoras que propõe. É

uma empresa familiar com um crescimento muito rápido nos últimos anos, por isso tem alguns aspetos logísticos que podem ser melhorados.

Um dos aspetos é a distribuição dos produtos pelos clientes. A empresa possui uma frota própria que utiliza nas entregas, sendo as rotas percorridas pelos camiões definidas manualmente. A definição manual de rotas faz com que existam custos exagerados com a distribuição, nomeadamente custos com excesso de veículos/condutores necessários, distância exagerada percorrida pelos veículos, custos de manutenção, etc. Outro fator contra são os prazos de entrega do material ao cliente, pois como as rotas são feitas manualmente existem dias pré definidos para as diferentes zonas, ou seja, um cliente só tem um ou dois dias por semana para receber o material.

Nesta dissertação pretende-se abordar o problema da definição das rotas através de modelos e métodos de Investigação Operacional. Em particular, modela-se o problema como uma variante do problema de encaminhamento de veículos ("Vehicle Routing Problem" - VRP) para assim obter soluções de qualidade superior.

1.4 - Guia da dissertação

No capítulo 2 é realizada uma revisão da literatura onde são apresentadas a maior parte das variantes do VRP (vehicle routing problema) e a sua definição. No capítulo 3 é feita uma definição do problema, onde é analisado o processo de geração de rotas atual e quais os seus principais problemas. No capítulo 4 é descrito o algoritmo proposto para a resolução do problema de encaminhamento de veículos. Neste mesmo capítulo é feita a comparação entre a solução atual da empresa e a solução proposta.

No capítulo 5 é explicado todo o funcionamento do programa informático desenvolvido.

Por último, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões desta dissertação.

2 - Revisão da Literatura

2.1 - Problemas de encaminhamento de veículos

O Problema de encaminhamento de veículos (VRP – Vehicle Routing Problem), tem sido estudado há várias décadas pelas comunidades de Investigação Operacional e comunidades próximas, quer pelo seu interesse teórico, quer pelo interesse prático (*Toth and Vigo 2002*) (*Golden et al. 2008*).

Este tipo de problema tem como objetivo encontrar as melhores rotas possíveis para uma determinada frota de veículos atender um determinado conjunto de clientes.

A distribuição de bens ou serviços num determinado período é realizada por um determinado conjunto de veículos localizados num determinado depósito. Esses veículos são conduzidos por um determinado número de condutores disponíveis, utilizando uma rede rodoviária adequada satisfazendo as necessidades de um determinado conjunto de clientes. Em geral uma solução de VRP é a determinação de rotas onde os veículos saem e terminam num determinado depósito passando uma única vez por cada cliente satisfazendo por completo as necessidades deste. Na figura 1 e na figura 2 está representado uma instância do problema e uma solução de um VRP em que se considera que todos os clientes têm procura 1 e capacidade dos veículos é 5 unidades.

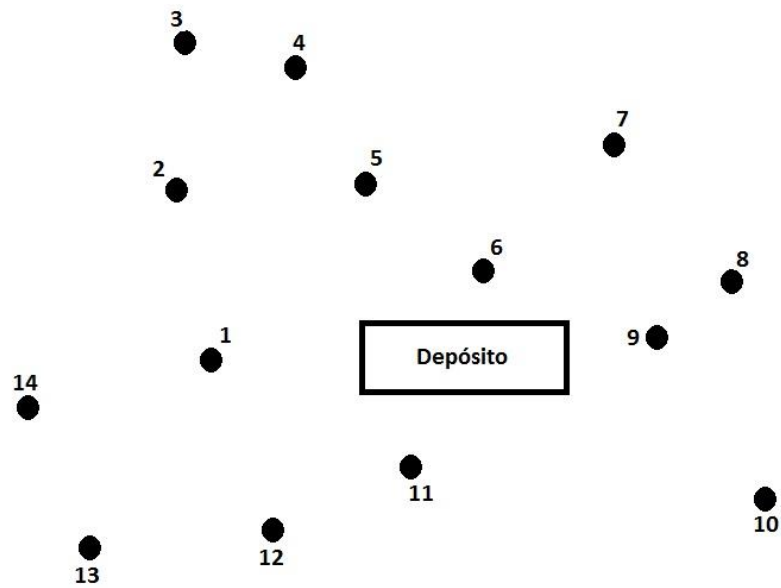


Figura 1 – Início VRP simples

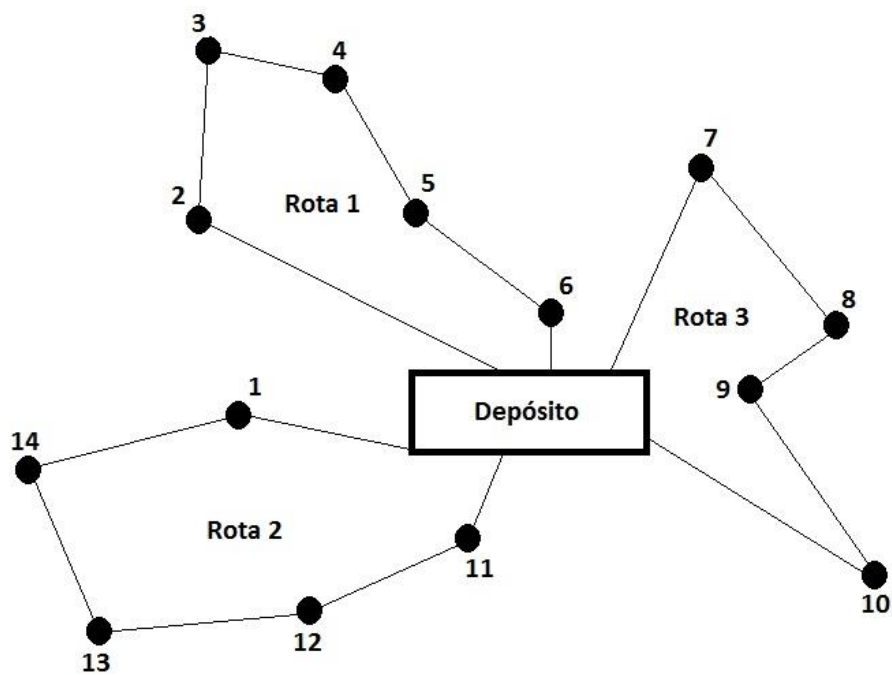


Figura 2 – Resultado VRP simples

Cada conjunto de arestas com início e fim no depósito da Figura 2 representa um caminho a ser percorrido por um veículo. As ligações no grafo que representa o problema

podem ser orientadas ou não orientadas. Serão orientadas quando representarem, por exemplo, ruas de sentido único. A cada ligação está associado um custo que geralmente corresponde a uma distância ou a um tempo de percurso dependendo do veículo utilizado e do objetivo logístico da empresa.

Alguns dos objetivos de variantes do VRP são os seguintes:

- Minimização dos custos totais do transporte dependendo da distância percorrida ou do tempo gasto na distribuição;
- Minimização do número de veículos/condutores utilizados na distribuição.

Algumas características dos clientes:

- Local onde o cliente se encontra (vértice da imagem);
- Quantidade de produtos a entregar ou recolher no cliente (procura);
- Janelas temporais, ou seja, períodos do dia em que o cliente está disponível para receber o material;
- Tempo de carga/descarga no cliente, isto não depende só do cliente mas também do tipo de veículo utilizado;
- Veículos disponíveis para atender o cliente, temos restrições como por exemplo o tamanho da rua do cliente.

Por vezes não é possível atender o cliente devido a excesso de material a entregar ou outra razão qualquer. Para evitar que os clientes mais importantes não sejam atendidos, podem ser atribuídas prioridades ou penalidades aos clientes. Os veículos que irão atender todos os clientes começam e terminam num determinado depósito. Estes veículos podem ter características iguais ou diferentes como por exemplo:

- Depósito de origem/chegada pode ser igual ou diferente.
- A capacidade pode ser igual ou diferente, pode ser expressa por volume, por palete ou por peso, dependendo dos materiais a serem entregues ao cliente.
- Máquinas disponíveis para efetuar a carga/descarga do veículo.
- Os custos associados aos veículos também podem ser diferentes, dependendo, por exemplo, da sua capacidade.

Além das características dos veículos, as características dos condutores também são importantes, pois é necessário ter em conta o número de horas de trabalho de um condutor, o número de pausas durante o dia e o tipo de veículo que está capacitado a conduzir. Este aspecto pode ser modelado através da inclusão de uma duração máxima de cada rota.

Depois de todas as restrições dos clientes, veículos, motoristas e materiais serem consideradas, é realizada a definição das rotas tendo em conta que nenhuma destas restrições pode ser desrespeitada.

Os algoritmos para solução do problema de encaminhamento de veículos podem ser utilizados em vários casos do mundo real, além da entrega de materiais, temos os exemplos do encaminhamento de autocarros escolares, limpeza de ruas, encaminhamento de vendedores, etc.

2.2 - Variantes do VRP

Diversas variantes do VRP base podem ser consideradas, tais como: o VRP com capacidades, o VRP com restrição de distância, o VRP com janelas temporais, o VRP com retorno (“VRP with back hauls”) e por último o VRP com entregas e recolhas. De seguida descrevem-se sucintamente cada uma destas variantes.

As seguintes características são comuns a todos os VRPs:

- Cada cliente seja visitado uma vez e só por um veículo;
- Todos os veículos saem de um depósito;

2.2.1 - VRP com veículos capacitados

No CVRP a restrição adicional em relação ao VRP básico é a consideração de veículos com capacidade. O objetivo é encontrar um número exato de percursos com custo

mínimo, determinado pelas somas das arestas pertencentes a esses percursos, de maneira que:

- A soma dos produtos a entregar num percurso não pode ultrapassar a capacidade do veículo responsável por esse transporte.

Existem diversas variantes do VRP com veículos capacitados na literatura. Uma delas por exemplo, é quando o número de veículos disponíveis para a distribuição é superior ao número de veículos necessários, o que faz com que haja um número de veículos disponíveis não utilizados na distribuição. Para resolver isto é associado um custo fixo a cada um. Com isso, essa minimização é adicionada à minimização do custo total e pode-se minimizar o número de veículos utilizados na distribuição.

O VRP com veículos capacitados, é classificado como NP-difícil, já que generaliza o problema do caixeiro-viajante (TSP – Travelling Salesman Problem). No TSP pretende-se calcular o percurso a percorrer com o menor custo visitando todos os vértices do problema, uma e uma só vez.

Outra variante é o VRP restrito à distância, onde a capacidade do veículo é substituída pela restrição de comprimento ou tempo máximo da rota. Nesta variante o somatório dos comprimentos de todas as arestas associadas a uma rota não pode exceder o tempo/comprimentos máximo que o veículo pode percorrer. Este comprimento/tempo está associado ao tempo que o veículo demora a percorrer esse percurso. Juntando a isto o tempo que o veículo demora em cada cliente temos o tempo de serviço do condutor que não pode ser ultrapassado.

2.2.2 - VRP com Janelas Temporais

O VRP com janelas temporais é uma extensão do CVRP (VRP com capacidades). Além das restrições consideradas no CVRP, é adicionada outra, onde cada cliente tem que ser servido dentro de um determinado intervalo de tempo. Assim, quando um veículo chega a um cliente, só poderá começar o serviço se o seu tempo for maior ou igual ao do início da janela temporal. Por outro lado, depois de o cliente estar atendido, a hora a que

o veículo sai tem que ser menor ou igual ao fim do intervalo de tempo dado pelo cliente (*Cordeau et. Al 2001*).

Para que isto seja possível é dado um instante de tempo que o veículo sai do depósito, normalmente todos os veículos saem no instante de tempo T_0 , o tempo que demora a percorrer o caminho até ao cliente e o tempo que demora a descarga do material em cada cliente (*Bräysy and Gendreau 2001*).

O VRP com Janelas Temporais tem como principal característica:

- Para cada cliente i o serviço inicia dentro da Janela de Tempo a_i , b_i , e o veículo pára s_i instantes de tempo.

2.2.3 - VRP com retorno

O VRPB (Vehicle Routing Problem with Backhauls) é outra extensão do CVRP. Neste tipo de problemas, os veículos além de distribuírem material, também fazem a recolha de material para transportarem para o depósito. Todas as entregas têm que ser feitas antes de qualquer recolha para evitar uma reorganização da carga, pois isto implica perda de tempo. Este tipo de problema é muito importante e útil, pois vai-se utilizar as capacidades do veículo no regresso ao ponto inicial, que nos VRPs anteriores não eram utilizadas, pois os veículos voltavam vazios para o armazém (*Goetschalckx and Jacobs-Blecha 1989*).

Esta variante do VRP tem como principal característica:

- Todos os clientes com encomendas são visitados antes dos clientes com recolhas.

2.2.4 - VRP com entregas e recolhas

Neste tipo de problemas os clientes têm quantidades de material para serem entregues ou recolhidas. As operações de entrega e recolha de materiais ocorrem num determinado instante de tempo, passando o veículo pelo cliente uma única vez. É

importante ter em atenção que a soma de todas as recolhas de uma determinada rota não exceda a capacidade do veículo. O objetivo principal é diminuir a distância percorrida por todos os veículos satisfazendo todas as entregas e recolhas, nunca ultrapassando a capacidade dos veículos.

Neste tipo de VRP considera-se que em cada cliente a entrega de materiais é realizada antes da recolha, ou seja, a carga atual do veículo é calculada pela carga inicial menos todas as entregas já realizadas, mais todas as recolhas realizadas.

2.2.5 - Visão geral das variantes do VRP

Na figura 3 são mostradas as relações entre vários problemas de encaminhamento de veículos (*Toth and Vigo, 2002*).

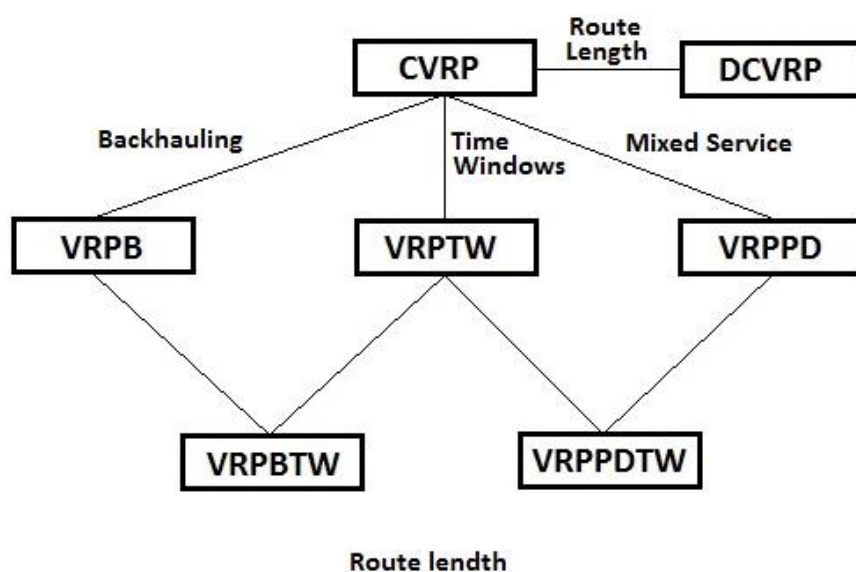


Figura 3 - Conexões básicas do VRP

A figura 3 representa todas as conexões básicas do VRP. Analisando a figura repara-se que os VRPs desenvolvem-se a partir do VRP capacitado (CVRP). Quando se acrescenta a variante de comprimento da rota obtém-se o DCVRP. Quando se acrescentam outras variantes como as Janelas Temporais obtém-se o VRPTW, quando se acrescentam Retornos obtém-se o VRPB e quando se acrescentam Entregas e Recolhas

obtém-se o VRPPD. Se num problema de veículo com capacidade com Janelas Temporais se acrescenta a Variante de retorno obtém-se um VRPBTW, mas se nesse mesmo problema for acrescentado a variante de Entregas e Recolhas obtém-se um VRPPDTW.

2.3 - Métodos de solução de VRP

De forma geral, os métodos de solução de VRPs dividem-se em exactos e heurísticos. Os primeiros garantem a obtenção de uma solução ótima mas podem ter tempos de execução proibitivos em instâncias de alguma dimensão de problema difíceis como o VRP. Por outro lado, os métodos exactos, em geral, são menos flexíveis na modelação de variantes práticas dos problemas. Por estas duas razões, optou-se pelo desenvolvimento de um método heurístico. Neste tipo de métodos, não existe a garantia de obtenção de uma solução ótima.

Os métodos heurísticos podem ser divididos em duas classes, Heurísticos propriamente ditos e Meta heurísticos. A maioria dos métodos encontrados na revisão de literatura efectuada pertence à primeira classe, ou seja, à dos heurísticos. Os métodos heurísticos produzem soluções boas em tempos computacionais razoavelmente bons, mas o espaço de pesquisa pode ser reduzido. Nos Meta heurísticos o espaço de pesquisa é maior, por isso, por norma obtêm-se soluções melhores à custa de um tempo computacional maior. Três componentes presentes em várias Meta heurísticas são as regras de pesquisa, as estruturas de memória e as recombinações de soluções.

De acordo com *Toth and Vigo, 2002* as heurísticas clássicas do VRP podem ser divididas em três categorias:

Heurísticas construtivas: Procuram construir gradualmente uma solução de acordo com os custos a ela associados.

Heurísticas em duas fases: O problema é decomposto em dois subproblemas: agrupamento de vértices em rotas viáveis e construção da rota real. Estas heurísticas são divididas em duas classes: métodos cluster-first, route-second e métodos route-first, cluster-second. No primeiro organiza-se os vértices em grupos viáveis e constrói-se uma rota para cada um deles. No segundo caso, é construído uma única rota que inclui todos os vértices e que depois é segmentada em rotas de veículos viáveis.

Heurísticas de melhoria: Estas heurísticas tentam encontrar uma solução através de trocas de arestas ou vértices nas rotas dos veículos.

2.3.1 - Heurísticas construtivas

Existem duas técnicas mais comuns para encontrar a solução de VRP. Uma delas é a fusão de rotas existentes usando um critério de poupanças e o outro é a atribuição de vértices para rotas de veículos usando um custo de inserção.

2.3.1.1 - Algoritmo de Poupanças de Clarke and Wright

O algoritmo de poupanças de Clarke and Wright é um dos algoritmos mais conhecidos e mais utilizados na resolução de VRP. Foi proposto pela primeira vez por Clarke e Wright para resolver um VRP em que o número de veículos era livre (Clarke and Wright 1964).

O método inicia-se com a rota de um veículo contendo apenas o depósito e um vértice.

Este método baseia-se no estudo das economias entre rotas. É um método muito utilizado devido à sua flexibilidade em adaptar-se aos problemas, devido à sua rapidez computacional e porque para um número modesto de restrições e clientes, é capaz de gerar soluções quase ótimas.

É importante salientar que o algoritmo de Clarke and Wright baseia-se em ganhos que representam as poupanças na distância percorrida em duas situações.

A primeira situação representa um veículo que sai do depósito destinado a um único cliente e logo após a entrega estar realizada regressa ao depósito. Neste caso assume-se que o cliente j seja atendido depois do cliente i e o veículo teria que fazer duas viagens a partir do depósito como mostra na figura 4. Esta configuração das rotas vai levar a um número muito grande de rotas e veículos utilizados. Nesta situação o veículo para atender os dois clientes teria que fazer uma distância igual a duas vezes a distância do depósito ao cliente i mais duas vezes a distância do depósito ao cliente j .

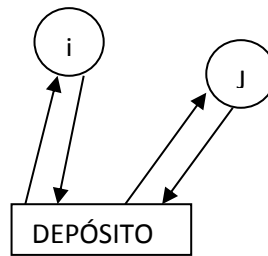


Figura 4 - Situação inicial
Clarke and Wright

Na segunda situação os dois clientes seriam atendidos na mesma rota, existindo só um percurso e só um veículo utilizado como demonstra a figura 5. Ao colocarmos os dois clientes no mesmo percurso existira uma poupança dada pela seguinte fórmula: $S_{ij} = C_{di} + C_{dj} - C_{ij}$, onde S_{ij} é a poupança obtida entre o cliente i e o cliente j , o C_{di} é o custo de ir do depósito ao cliente i , o C_{dj} é o custo de ir do depósito ao cliente j e o C_{ij} é o custo de ir do cliente i ao cliente j . Como se pode constatar pela fórmula a poupança tende a aumentar quando a distância entre o depósito e os clientes aumenta e a distância entre os clientes diminui.

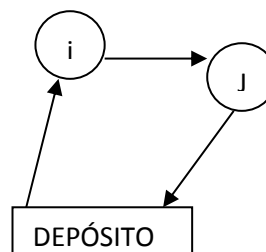


Figura 5 - Situação final
Clarke and Wright

O método de Clarke and Wright segue as seguintes etapas:

1. Faz-se as combinações entre todos os clientes dois a dois e calcula-se a poupança entre eles através da fórmula referida anteriormente.
2. Ordena-se as poupanças por ordem decrescente.
3. Inicia-se a análise das poupanças das maiores para as mais pequenas.
4. Para cada par de clientes (i,j) que está a ser analisado pela tabela das poupanças, verificar se esses clientes fazem parte de outra rota já definida.

- a. Se i e j não fazem parte de nenhum percurso já definido, criar um percurso novo com estes dois clientes.
- b. Se o ponto i pertence a um percurso definido, verificar se se encontra numa das extremidades desse percurso sem ter em conta o depósito, se sim, acrescentar esse par de pontos na extremidade adequada desse mesmo percurso. Esta análise deve ser feita também para o ponto j . Se nenhum dos dois pontos satisfizer esta condição, deve-se retornar ao ponto 3.
- c. Se ambos os pontos fizerem parte de dois percursos diferentes e se ambos estiverem nas extremidades desses percursos, então deve-se unir esses dois percursos pelas extremidades onde se encontram esses pontos, senão passar para a etapa d.
- d. Sempre que se acrescenta um ponto a um percurso, ou sempre que se unam, dois percursos, deve-se verificar se todas as restrições do problema estão a ser respeitadas, nomeadamente a capacidade do veículo afetado a esse percurso e o tempo disponível que tem para o realizar.
- e. Este algoritmo acaba quando todos os pontos estão afetados a um percurso, ou seja, quando todos os clientes são atendidos.

A seguir temos um exemplo da resolução de um VRP simples com o algoritmo de Clarke and Wright, onde está representado o depósito de onde partem e voltam todos os veículos e os círculos representam os clientes a serem visitados.

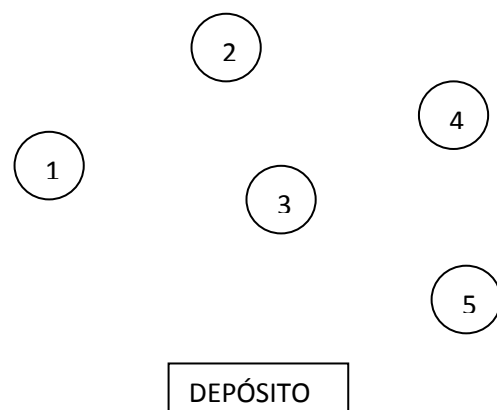


Figura 6 - Situação inicial do exemplo Clarke and Wright

Na tabela 1 está representada a matriz de distância, ou seja, a distância entre os clientes e o depósito e as distâncias entre eles.

Tabela 1 - Matriz de Distâncias do exemplo (em Km)

| | Depósito | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|----------|---|---|---|---|---|
| Depósito | | 6 | 4 | 2 | 5 | 1 |
| 1 | | | 2 | 4 | 5 | 8 |
| 2 | | | | 3 | 3 | 6 |
| 3 | | | | | 7 | 5 |
| 4 | | | | | | 2 |
| 5 | | | | | | |

Na tabela 2 estão representadas todas as encomendas dos 5 clientes.

Tabela 2 - Encomendas exemplo (em Kg)

| Cientes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Peso Encomendas | 200 | 100 | 200 | 100 | 300 |

Os veículos têm 500kg de capacidade.

Na tabela 3 está representada a matriz das poupanças que surge da fórmula $S_{ij}=C_{id}+C_{dj}-C_{ij}$.

Tabela 3 - Matriz de Poupanças do exemplo (em Km)

| | Depósito | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|----------|---|---|---|---|----|
| Depósito | | | | | | |
| 1 | | | 8 | 4 | 6 | -1 |
| 2 | | | | 3 | 6 | -1 |
| 3 | | | | | 0 | -2 |
| 4 | | | | | | 4 |
| 5 | | | | | | |

Depois de termos a matriz das poupanças calculada, temos que colocar todas as poupanças por ordem decrescente como está representado na tabela 4.

Tabela 4 - Poupanças por ordem decrescente do exemplo

| De: | Para: | Poupança: |
|-----|-------|-----------|
| 1 | 2 | 8Km |
| 1 | 4 | 6Km |
| 2 | 4 | 6Km |
| 1 | 3 | 4Km |
| 4 | 5 | 4Km |
| 2 | 3 | 3Km |
| 3 | 4 | 0Km |

Começando a fazer a rota, constatamos que a maior poupança é entre o cliente 1 e o cliente 2, logo iremos proceder à junção destes dois pontos da seguinte forma:

Depósito → Cliente 1 → Cliente 2 → Depósito

Depois de juntos iremos testar se a restrição da capacidade do veículo não é violada, ou seja se o peso da encomenda do cliente 1 mais o peso da encomenda do cliente 2 não ultrapassa os 500Kg.

200Kg mais 100Kg é igual a 300kg, logo podemos continuar a avançar no mapeamento.

Descendo na tabela das poupanças, encontramos outra poupança entre o cliente 4 e o cliente 1, logo iremos juntar o cliente à rota da seguinte forma.



Depois de junto procedemos novamente ao teste da violação da restrição da capacidade do veículo.

200kg mais 100Kg mais 100Kg é igual a 400Kg, logo avançar no mapeamento.

Continuando a descer na matriz das poupanças, encontramos uma poupança entre o cliente 2 e o cliente 4, mas como estes já estão inseridos na rota, avançamos encontrando uma poupança entre o cliente 1 e o cliente 3. Realizando o mesmo procedimento anterior reparamos que a capacidade do veículo é violada, pois somando 200Kg à rota anterior, obtemos um valor de 600kg e a capacidade do veículo é de 500. Como não adicionamos nenhum ponto à rota, continuamos a descer na tabela das poupanças.

Como já estamos quase no final do mapeamento, reparamos que não podemos adicionar o cliente 5 à rota anterior, pois a capacidade do veículo irá ser novamente violada, então, teremos de analisar a poupança entre o cliente 5 e o cliente 3. Ao analisarmos, reparamos que a poupança entre os dois pontos é negativa, logo não compensa inseri-los na mesma rota, por isso as duas rotas seguintes possuem um único ponto cada, obtendo no final as seguintes rotas representadas na figura 7.

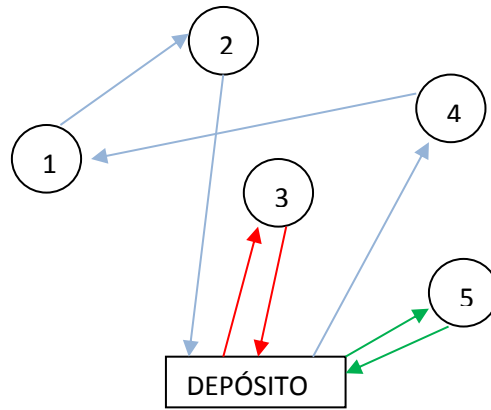


Figura 7- Solução do exemplo

Depósito → Cliente 4 → Cliente 1 → Cliente 2 → Depósito

Depósito → Cliente 3 → Depósito

Depósito → Cliente 5 → Depósito

Analisando as rotas, reparamos que são necessários 3 veículos, onde o primeiro veículo irá carregado com 400Kg e irá percorrer 16Km, o segundo veículo irá carregado com 200Kg e irá percorrer 4Km e por último o veículo 3 irá carregado com 300Kg e irá percorrer 2Km.

2.3.2 - Algoritmos de inserção sequencial

Existem dois tipos de algoritmos de inserções sequenciais, um deles é o algoritmo de *Mole and Jameson* (1976) que expande uma rota de cada vez e outro é o algoritmo de *Christofides, Migozzi e Toth* (1979) que aplica procedimentos de construção de rota sequencial e paralela.

2.3.2.1 - Heurística de Mole and Jameson

Este algoritmo foi desenvolvido em 1976 e utiliza dois parâmetros para a expansão de uma rota em construção, são eles o λ e o μ (*Mole and Jameson 1976*).

$$\alpha(i, k, j) = C_{ik} + C_{kj} - \lambda_{cij}$$

$$\beta(i, k, j) = \mu_{C_{0k}} - \alpha(i, k, l)$$

O algoritmo aplica-se da seguinte maneira.

1. Se todos os vértices pertencem a uma rota, então o algoritmo pára, senão cria-se uma rota emergente (0,k,0), onde o k é qualquer vértice do problema.
2. Calcula-se para cada vértice k sem rota, o custo de inserção mínimo α para todos os vértices adjacentes r e j da rota emergente. Se a inserção não for possível volta-se para o ponto 1. Caso contrário o melhor vértice k para inserir na rota emergente é o vértice com β com valor máximo de todos os k vértices sem rota que podem ser inseridos.
3. Otimizar a rota através de um método 3-opt e voltar para o ponto 2.

Existem algumas regras de inserção de vértices nas rotas que são calculadas. Estas regras são comandadas pelos parâmetros λ e μ . Exemplos:

- $\lambda = 1$ e $\mu = 1$ - o algoritmo insere o vértice que produz a distância extra mínima.
- $\lambda = \mu = 0$ - o algoritmo insere o vértice que corresponde á menor soma de distâncias entre dois vizinhos.
- $\mu = \infty$ e $\lambda \geq 0$ - O algoritmo insere o vértice que esta mais distante do deposito.

2.3.2.2 - Heurística de inserção sequencial de Christofides, Minozzi e Toth

Esta heurística foi desenvolvida em 1979 e tal como a heurística explicada anteriormente, também é controlada por dois parâmetros λ e μ , (*Christofides, Minozzi e Toth, 1979*).

O algoritmo aplica-se da seguinte maneira.

1. Construção da rota sequencial

- a. Define um primeiro índice de rota k igual a 1.
- b. Para cada vértice i sem rota, calcula $\delta = C_{0i} + \lambda C_{ik}$
- c. Escolhe o vértice com δ mínimo e insere-o na rota k e otimiza a rota usando um algoritmo 3-opt. Realiza este passo até que todos os vértices possíveis de inserção nesta rota façam parte dela.
- d. Se todos os vértices já estão inseridos em alguma rota o algoritmo pára. Se não define $K=K+1$ e volta para o ponto b.

2. Construção de rota paralela

- a. Inicia k rotas, onde k é o número de rotas obtidas no final do ponto 1. Seja $J=\{R_1...R_k\}$.
- b. Calcula-se $\varepsilon_i = C_{0i} + \mu_{ci}$ para todos os vértices i sem rota e depois associa-se o vértice com ε_i menor à rota. Realiza-se este passo até que todos os vértices tenham sido associados a uma rota.
- c. Escolhe-se qualquer rota R_i que esta contida em J e define-se $J:=J/R_i$ para cada vértice i associado com a rota R_i calcula-se o ε_{ri} mínimo e $\tau_i = \varepsilon_{ri} - \varepsilon_{ii}$.
- d. Insere-se o vértice i na rota R_i escolhendo os vértices com τ_i menor. Depois otimiza-se a rota utilizando um algoritmo 3-opt. Repete-se este passo até que os vértices estejam todos inseridos numa rota.
- e. Se $|J| \neq \emptyset$, volta ao passo b, caso contrário pára o algoritmo. Se continuarem a existir vértices sem rota, volta-se ao passo (a) do ponto 1.

2.3.3 - Heurísticas em duas fases

2.3.3.1 - Cluster-first, Route-second

Algoritmo de Sweep

O algoritmo de sweep é conhecido como o método de varredura, que tal como o nome indica, existe um raio centrado no depósito que “varre” o plano, incluindo os clientes que são atravessados pelo raio na rota do veículo utilizado, *(Toth and Vigo, 2002)*.

O algoritmo aplica-se da seguinte maneira:

1. Escolhe-se um veículo k não utilizado
2. A partir do vértice que faz menor ângulo com o depósito, ir atribuindo vértices ao veículo sem que a sua capacidade ou comprimentos máximos da rota sejam excedidos. Se no fim deste passo ainda existirem vértices sem rota, voltar ao passo 1.
3. Otimizar cada rota separadamente.

2.3.3.2 - Route-first, Cluster-second

Os métodos de Route-first , Cluster-second foram apresentados pela primeira vez por *Beasley (1983)*. Numa primeira fase estes métodos constroem uma rota gigante de caixeiro-viajante sem considerarem qualquer tipo de restrições e numa segunda fase dividem esta rota em rotas com veículos viáveis. Este tipo de método surgiu para resolver VRP com frotas cujo número de veículos é variável. Beasley reparou que a segunda fase deste problema era um problema padrão de caminho mínimo e que podia ser resolvido através do algoritmo de Dijkstra em tempo $O(n^2)$, onde n é o número de vértices. No algoritmo de caminho mínimo o custo da viagem entre o cliente i e o cliente j é dado pela expressão $d_{ij} = c_{oi} + c_{oj} + l_{ij}$, onde o l_{ij} é o custo da viagem do cliente i até ao cliente j no problema do caixeiro-viajante.

3 - Definição do Problema

3.1 - Sistema de Distribuição da Casa Peixoto

3.1.1 - Descrição

A Casa Peixoto possui uma frota variada de veículos para proceder a distribuição dos materiais pelos clientes e possui também um contrato com uma transportadora. Esta frota é composta por:

- 1- 2 Camiões com capacidade de 1500Kg
- 2- 2 Camiões com capacidade de 2600Kg
- 3- 1 Camião com capacidade de 4100Kg
- 4- 1 Camião com capacidade de 4520Kg
- 5- 1 Camião com capacidade de 9600Kg
- 6- 1 Camião com capacidade de 14260Kg
- 7- 3 Camiões com capacidade de 15000Kg
- 8- 1 Camião com capacidade de 18650Kg
- 9- 9 Motoristas qualificados a conduzir qualquer um dos veículos disponíveis.

Nesta frota nenhum dos veículos está equipado com Gps, ou seja, são os condutores que decidem a ordem de distribuição das encomendas. A frota da Casa Peixoto só distribui para clientes num raio de cerca de 150km, o resto das encomendas são enviadas por uma transportadora.

A empresa tem duas pessoas responsáveis por todo o processo de geração das rotas, processo que designam por mapeamento das rotas. Estes dois operários recebem as encomendas todas e começam a fazer o mapeamento dos camiões para as diferentes zonas. Todo o processo de mapeamento é feito manualmente sem nenhum tipo de

precisão, a única restrição que é tomada em conta é a capacidade do camião que nunca é ultrapassada. Na encomenda vem toda a informação necessária para proceder ao mapeamento, nomeadamente a morada do cliente com código postal, nome, peso dos materiais e alguma restrição que exista como horário de disponibilidade do cliente ou o tamanho da sua rua/porta. Estes dois operários também decidem o que vai e o que não vai pela transportadora baseados numa tabela de preços. O contrato entre a empresa e a transportadora varia de ano para ano com a renovação. Os preços da transportadora são calculados dependendo da zona para onde vai a encomenda e o respetivo peso dessa encomenda. É lógico que quanto mais longe e maior o peso, maior será o custo de enviar a encomenda pela transportadora. Na figura 14 está representado o mapa pelo qual os funcionários se guiam para realizar o mapeamento das rotas. Este mapa foi planeado manualmente sem nenhum tipo de precisão. No *anexo 1* está representado o exemplo de uma encomenda e no *anexo 2* está representado um exemplo de um mapa de carga.

Note-se que cada zona está associada a um ou dois dias da semana, o(s) dia(s) em que são definidas rotas a servir clientes dessas zonas.



Figura 8 - Mapa atual do sistema de distribuição

3.1.2 - Desvantagens do sistema atual

Esta forma de fazer o mapeamento das cargas/rotas faz com que haja muitos problemas e muitos desperdícios como por exemplo:

Clientes insatisfeitos

Existem clientes insatisfeitos, pois, por exemplo se um cliente for de Paredes de Coura e fizer uma encomenda na segunda, só a receberá na quinta, pois segundo o mapa atual só se fazem entregas para Paredes de Coura na quinta-feira.

Excesso de trabalho para os condutores

Em vários dias os condutores trabalham para além do seu horário de trabalho para que os clientes fiquem todos atendidos.

Excesso de Quilómetros realizados

Como os condutores decidem a ordem das entregas, a maior parte das vezes decidem mal a sua rota e como não possuem GPS por vezes vão pelo caminho mais longo, logo mais dispendioso. Em algumas vezes os condutores levam a encomenda para um local errado, tendo depois que voltar atrás para o local certo. Temos o exemplo de a encomenda ser feita por um cliente mas o ponto de entrega não é na casa desse cliente, mas sim numa obra que este está a realizar.

Desgaste dos veículos

Como os veículos fazem quilómetros desnecessários existe um maior desgaste, ou seja, mais despesas na sua manutenção.

Veículos mal aproveitados

Muitas vezes os veículos não vão totalmente carregados, levando uma taxa de ocupação da sua capacidade de cerca de 60%, ou seja, desperdício de espaço que origina perdas de dinheiro.

Gastos desnecessários com a transportadora

Por vezes os operários responsáveis pelo mapeamento das rotas, decidem enviar a encomenda pela transportadora, simplesmente porque o ponto da encomenda é longe, sem analisar todas as opções de mapeamento de outras encomendas. O que faz com que haja dinheiro gasto na transportadora que seria poupado se este tipo de encomendas fosse colocado numa rota favorável. Este problema também acontece da maneira oposta, ou seja, há encomendas que deveriam ser enviadas pela transportadora para se poupar dinheiro, no entanto são enviadas pela frota da Casa Peixoto o que faz com que algumas vezes o lucro da venda dos materiais seja gasto no transporte dos mesmos.

Todos estes problemas e estes desperdícios representam prejuízo para a empresa, sendo o objetivo desta dissertação resolver grande parte deles.

Para resolver grande parte destes problemas vai-se aplicar o algoritmo de Clarke and Wright com algumas extensões, pois como foi dito anteriormente, é um método muito utilizado devido à sua flexibilidade em adaptar-se aos problemas, devido à sua rapidez computacional e porque para um número modesto de restrições e clientes, é capaz de gerar soluções quase ótimas. Como na Casa Peixoto o número de variáveis não é grande e o número de encomendas diárias também não, chegou-se à conclusão que seria o melhor algoritmo a utilizar.

Para a utilização deste algoritmo teve-se em atenção todas as variáveis da Empresa, tais como:

- Capacidades dos diferentes veículos (referidas anteriormente);
- Número de veículos disponíveis;
- Número de condutores disponíveis;
- A velocidade média dos veículos é de 40 Quilómetros por hora;
- O tempo útil de trabalho de cada condutor são 9 horas;
- Tamanho do caminho/portão do cliente para entrada dos camiões, se pequeno ou grande;
- Horário de entrega de encomenda, se da parte da manhã ou da parte da tarde;
- O tempo de descarga de cada encomenda é em média 30 minutos;
- Número de encomendas do dia a mapear.

Depois de consideradas todas as restrições, passou-se à recolha de dados. Como foi dito anteriormente, na folha da encomenda tem todos os dados necessários para proceder à realização do mapeamento tais como:

- Data de entrega da encomenda;
- Restrições do tamanho da rua;
- Restrições do horário de atendimento do cliente;
- Designação dos materiais;
- Peso dos materiais.

É importante ter em conta a designação dos materiais, pois existem materiais que o seu mapeamento não pode ser feito em peso, mas sim em volume. Futuramente para implementação do algoritmo na empresa, todos os materiais vão ser passados de volume para peso, utilizando a fórmula de $1\text{m}^3=333\text{Kg}$, esta é a fórmula mais usual, utilizada por todas as transportadoras. Temos o exemplo do esferovite, onde é considerado que 1m^3 de esferovite pesa 333kg, na realidade não pesa, mas para mapear é necessário considerar esse valor se não a capacidade do veículo é ultrapassada mesmo que o peso da carga seja inferior à sua capacidade.

Tem que se ter em atenção também os materiais arenosos, ou seja, areias, paralelo, pedras, etc. pois, estes tipos de materiais só podem ser transportados num determinado veículo, por isso não entram neste algoritmo. O mapeamento destes materiais é realizado à parte.

4 - Algoritmo de Clarke and Wright modificado

4.1 - Descrição

Inicialmente, para a realização deste algoritmo, é necessário ter em atenção todas as encomendas a entregar e devidas restrições. Depois de todas as encomendas serem consideradas e os locais referentes a estas, são realizados os seguintes passos:

1. Realização de uma matriz de distâncias, ou seja, calcular todas as distâncias entre o depósito e os clientes e todas as combinações entre clientes.
2. Faz-se as combinações entre todos os clientes dois a dois e calcula-se a poupança entre eles através da fórmula $S_{ij} = C_{di} + C_{dj} - C_{ij}$.
3. Ordena-se as poupanças por ordem decrescente.
4. Inicia-se a análise das poupanças das maiores para as mais pequenas.
5. Para cada par de clientes (i,j) que está a ser analisado pela tabela das poupanças, verificar se esses clientes fazem parte desse ou de outro percurso já definido.
 - a. Se i e j não fazem parte de nenhum percurso já definido, criar um percurso novo com estes dois clientes.
 - b. Se o ponto i pertence a um percurso definido, verificar se se encontra numa das extremidades desse percurso sem ter em conta o depósito, se sim, acrescentar esse par de pontos na extremidade adequada desse mesmo percurso. Esta análise deve ser feita também para o ponto j. Se nenhum dos dois pontos satisfizer esta condição, deve-se retornar ao ponto 5.
 - c. Se ambos os pontos fizerem parte de dois percursos diferentes e se ambos estiverem nas extremidades desses percursos, então deve-se unir esses dois percursos pelas extremidades onde se encontram esses pontos, se não passar para a etapa d.
 - d. Sempre que se acrescenta um ponto a um percurso, ou sempre que se unam, dois percursos, deve-se verificar se todas as restrições do problema estão a ser respeitadas, nomeadamente a capacidade do maior

veículo disponível, o horário do trabalhador e as restrições da própria encomenda, como por exemplo horário de entrega, se de manhã ou de tarde e o tamanho da rua/portão do cliente. Se a rua/portão do cliente for pequena, essa rota que está a ser calculada, deixa de ser testada pelo camião de 18650Kg (capacidade do maior veículo disponível) e passa a ser testada pelo camião de 4520Kg (capacidade daquele que é considerado “camião pequeno”)

- e. Este algoritmo acaba quando todos os pontos estão afetados a um percurso, ou seja, quando todos os clientes são atendidos.
- f. Depois de serem calculadas todas as rotas, o custo destas vai ser comparado com o custo da transportadora, se o custo da entrega for menor com a transportadora em determinada rota, a entrega das encomendas aliadas a essa rota será subcontratada.
- g. Se ficarem encomendas de fora devido à falta de capacidade dos veículos da empresa ou devido ao reduzido horário dos condutores, essas mesmas encomendas passam diretamente para mapear no dia seguinte.

4.2 - Exemplo

Inicialmente procedermos a recolha de dados obtendo todos os códigos postais dos locais das encomendas realizadas com data de entrega a dia 22 de Março de 2013 e obtemos a seguinte tabela 5. Na tabela, estão representadas todas as zonas para onde existem encomendas nesse dia, o número de encomendas e o respetivo peso. Como se pode reparar existem células da tabela a cinzento que representam encomendas que tem que ser entregues de manhã e células a azul que representam encomendas que tem que ser entregues num camião pequeno.

Tabela 5 - Encomendas dia 22 de Março

| | Peso (Kg) | Número de encomendas |
|------------------|-----------|----------------------|
| São paio | 905 | 1 |
| Rio Moinho | 942 | 1 |
| Ponte da Barca | 57 | 3 |
| Maia | 711 | 1 |
| Vilarelho | 535 | 1 |
| Ancora | 1350 | 2 |
| Guilhadeses | 637 | 1 |
| Gandra ptl | 65 | 1 |
| Lavra | 22 | 1 |
| Alvarães | 55 | 1 |
| Vila verde | 5500 | 1 |
| Arcos Vcd | 2058 | 1 |
| Viana do Castelo | 4724,1 | 6 |
| Cabedelo | 7500 | 1 |

| | | |
|-------------------|-------|---|
| Ponte de Lima | 75 | 1 |
| Nogueira PTB | 2830 | 1 |
| Lanheses | 16223 | 2 |
| Vila Nova de Anha | 621 | 1 |
| Moledo | 140 | 1 |
| Arcos de Valdevez | 10 | 1 |
| Lanhelas | 34 | 1 |
| Caminha | 8,33 | 1 |
| Braga | 435 | 1 |
| Roriz bcl | 1925 | 1 |
| Meadela | 19 | 1 |
| Outeiro | 41 | 1 |

Depois de termos todos os dados bem definidos procedemos à realização da matriz das distâncias, ou seja, a combinação da distância entre a Casa Peixoto (Neiva) e todos os pontos escritos na tabela anterior e as distâncias entre eles. Na tabela seguinte mostra um excerto da matriz das distâncias.

Tabela 6 - Matriz das Distâncias dia 22 Março

| | Neiva | São paio | Rio Moinhos | Ponte da Barca | Maia | Vilarelho | Ancora | Guilhadeses | ... |
|----------------|-------|----------|-------------|----------------|------|-----------|--------|-------------|-----|
| Neiva | | 53 | 60 | 53 | 60 | 40 | 30 | 50 | ... |
| São paio | | | 7 | 5 | 95 | 69 | 58 | 2 | ... |
| Rio Moinho | | | | 12 | 102 | 75 | 67 | 8 | ... |
| Ponte da Barca | | | | | 96 | 69 | 61 | 6 | ... |
| Maia | | | | | | 97 | 89 | 93 | ... |
| Vilarelho | | | | | | | 8 | 67 | ... |
| Ancora | | | | | | | | 60 | ... |
| Guilhadeses | | | | | | | | | ... |
| ... | | | | | | | | | ... |

Para calcular a distância precisa entre todos os pontos, foi utilizado o código postal de cada cliente. Os códigos postais foram inseridos no Google maps, escolhendo, o caminho mais curto, ou seja, o caminho mais económico.

Depois de calculadas todas as distâncias, o procedimento seguinte é calcular a matriz das poupanças através da fórmula $S_{ij}=C_{di}+C_{dj}-C_{ij}$. A tabela seguinte representa um excerto da matriz calculada para dia 22 de Março.

Tabela 7 - Matriz das Poupanças de dia 22 de Março

| | Neiva | São paio | Rio Moinhos | Ponte da Barca | Maia | Vilarelho | Ancora | Guilhades | ... |
|----------------|-------|----------|-------------|----------------|------|-----------|--------|-----------|-----|
| Neiva | | | | | | | | | |
| São paio | | | 106 | 101 | 18 | 24 | 25 | 101 | ... |
| Rio Moinho | | | | 101 | 18 | 25 | 23 | 102 | ... |
| Ponte da barca | | | | | 17 | 24 | 22 | 97 | ... |
| Maia | | | | | | 3 | 1 | 17 | ... |
| Vilarelho | | | | | | | 62 | 23 | ... |
| Ancora | | | | | | | | 20 | ... |
| Guilhades | | | | | | | | | ... |
| ... | | | | | | | | | |

O passo seguinte é colocar todas as poupanças por ordem decrescente como está representado no excerto da tabela seguinte.

Tabela 8 - Poupanças por ordem decrescente de dia 22 de Março

| De | Para | Sij |
|----------------|-------------------|-----|
| Ponte da Barca | Gandra PTL | 112 |
| Gandra PTL | Nogueira | 112 |
| Rio Moinho | Gandra PTL | 110 |
| Gandra PTL | Arcos de Valdevez | 109 |
| Gandra PTL | São paio | 109 |
| Rio Moinho | Arcos de Valdevez | 107 |
| São paio | Rio Moinho | 106 |

| | | |
|-------------------|-------------------|-----|
| São paio | Arcos de Valdevez | 105 |
| Ponte da Barca | Nogueira | 105 |
| Gandra PTL | Vila Verde | 103 |
| Rio Moinho | Guilhadeses | 102 |
| Arcos de Valdevez | Guilhadeses | 102 |
| Arcos de Valdevez | Nogueira | 101 |
| São paio | Ponte da Barca | 101 |
| São paio | Guilhadeses | 101 |
| Rio Moinho | Ponte da Barca | 101 |
| São paio | Nogueira | 100 |
| Rio Moinho | Nogueira | 100 |
| Arcos de Valdevez | Ponte da Barca | 99 |
| ... | ... | ... |

Depois de colocar todas as poupanças por ordem decrescente começa-se a mapear as rotas.

Inicialmente começa-se pelo topo da tabela das poupanças e cria-se uma rota inicial, com os dois pontos onde a poupança é a maior, neste caso a rota é a seguinte:

Rota 1 por finalizar

Neiva $\xrightarrow{53\text{Km}}$ Ponte da Barca $\xrightarrow{11\text{Km}}$ Gandra $\xrightarrow{70\text{Km}}$ Neiva

Distância percorrida: 134Km, 3h25min

Tempo gasto em descargas: 2h

Carga Total: $21+25+12+65=123\text{Kg}$

Analisando esta rota, percebe-se que nenhuma das restrições descritas anteriormente é violada, pois, o condutor trabalha 5h25min e pode trabalhar 7 horas e 30 minutos (tempo estimado para o dia 22 de Março, mas atualmente consideramos 9 horas de trabalho útil diário), a carga total é de 123kg e o maior camião tem capacidade de 18000kg e não existe nenhuma encomenda com restrições de entrega de manhã ou tarde nem com restrições do tipo do camião necessário, por isso, deixa-se a rota aberta a novos pontos e continua-se a descer na matriz das poupanças.

A maior poupança seguinte é entre Gandra e Nogueira, logo, reparamos que Gandra encontra-se num extremo da rota anteriormente calculada, por isso, procede-se à colocação de Nogueira na Rota 1, obtendo-se a seguinte rota.

Rota 1 por finalizar

Neiva 53Km ➔ Ponte da Barca 11Km ➔ Gandra 12Km ➔ Nogueira 54Km ➔ Neiva

Distância percorrida: 130Km, 3h15min

Tempo gasto em descargas: 2h30min

Carga Total: $21+25+12+65+2839=2953\text{Kg}$

Novamente, analisando esta rota, percebe-se que nenhuma das restrições é violada, por isso, deixa-se a rota aberta a novos pontos e continua-se a descer na tabela das poupanças.

A próxima poupança encontrada é entre Rio Moinho e Gandra, mas como Gandra já se encontra numa rota, e não está situada em nenhum dos extremos, descarta-

se esta poupança e continua-se a descer na tabela das até se encontrar uma poupança que tenha como conexão Ponte da Barca e Nogueira, pois são os dois pontos dos extremos, ou se encontrar uma poupança que possua dois pontos que não existem em nenhuma rota e com isto cria-se uma nova rota, não fechando a anterior.

A próxima poupança relevante encontrada é entre Rio Moinho e Arcos de Valdevez, como nenhum destes dois pontos de encontra na rota calculada anteriormente, então começa-se uma rota nova, obtendo a seguinte rota.

Rota 2 por finalizar

Neiva 60Km→ Rio Moinho 6Km→ Arcos de Valdevez 53Km→ Neiva

Distância percorrida: 119Km, 2h58min

Tempo gasto em descargas: 1h

Carga Total: $10+942=952\text{Kg}$

Novamente, analisando esta rota, percebe-se que nenhuma das restrições é violada, por isso, deixa-se a rota aberta a novos pontos e continua-se a descer na tabela das poupanças, mas agora em vez de duas conexões disponíveis, tem-se quatro que são elas, Rio Moinho, Arcos de Valdevez, Ponte da Barca e Nogueira, pois são os quatro pontos colocados nos extremos das rotas calculadas.

Continuando com o mesmo critério encontramos a próxima poupança entre Rio Moinho e São paio, ficando assim com a seguinte rota:

Rota 2 por finalizar

Neiva 53Km→ São Paio 7Km→ Rio Moinho 6Km→ Arcos de Valdevez 53Km→
Neiva

Distância percorrida: 119Km, 2h58min

Tempo gasto em descargas: 1h30min

Carga Total: $10+942+905=1857\text{Kg}$

Continuando a utilizar o mesmo método vamos colocando pontos nas rotas, criando novas rotas sempre tendo em atenção as restrições definidas.

Ao encontrar-se uma poupança com um ponto que tenha uma restrição como por exemplo Guilhadeses que tem que ser entregue de manhã, procede-se à colocação de Guilhadeses na rota e testa-se essa restrição.

Ao descer-se na tabela das poupanças encontramos uma poupança entre Guilhadeses e os Arcos de Valdevez, juntando Guilhadeses à rota obtemos o seguinte:

Rota 2 por finalizar

Neiva 53Km → São Paio 7Km → Rio Moinho 6Km → Arcos de Valdevez 53Km →
Guilhadeses 50Km → Neiva

Distância percorrida: 117Km, 2h50min

Tempo gasto em descargas: 2h

Carga Total: $10+942+905+637=2494\text{Kg}$

Nota: Guilhadeses tem que ser entregue de Manhã

Nesta rota todas as restrições são respeitadas exceto uma que é a de Guilhadeses, pois os clientes situado nesta região tem que ser atendido da parte da manhã, por isso quando isto acontece a solução encontrada é fazer a rota de tras para a frente, pois isso não implica em nada as poupanças, obtendo a seguinte rota:

Rota 2 por finalizar

Neiva 50Km → Guilhadeses 1Km → Arcos de Valdevez 6Km → Rio Moinho 7Km →
São Paio 22Km → Ponte de Lima 37Km → Neiva

Distância percorrida: 123Km, 3h

Tempo gasto em descargas: 2h30min

Carga Total: $10+942+905+637+75=2494\text{Kg}$

Fazendo isto, testamos outra vez todas as restrições e reparamos que todas são satisfeitas, por isso continua-se o mapeamento usando os mesmos critérios anteriores até que todos os pontos estejam inseridos numa rota.

Neste problema existe outra restrição que ainda não foi tida em conta que é a questão que moledo tem que ser entregue num camião pequeno, ou seja, no máximo pode ir até 4100 Quilogramas. Quando Moledo entra numa rota através do mesmo critério das poupanças, essa rota já não pode ser testada com a restrição do camião com maior capacidade, mas sim, testada com uma capacidade máxima de 4100 Quilogramas. Depois de esta restrição ter sido tomada em conta, os critérios de colocação de pontos nas rotas são iguais aos anteriormente explicados.

Quando uma rota é finalizada a nível de tempo de trabalho do operário, como a frota da Casa Peixoto é heterogénea, é-lhe atribuído o veículo disponível mais pequeno, que tenha capacidade para satisfazer aqueles clientes. Sempre que um veículo é atribuído a uma rota este fica indisponível para novas rotas. No caso da rota de Moledo, o veículo de 4100 Quilogramas fica logo indisponível para outras rotas.

Outro fator importante a ter em conta é que todas as rotas são testadas para a capacidade do veículo com cerca de 18650 quilogramas, mas quando uma rota ultrapassa os 15000 quilogramas, o veículo de 18650 quilogramas fica logo responsável por essa rota e as restantes rotas são testadas para capacidade máxima de 15000 quilogramas. Tendo outras três rotas a ultrapassarem os 14260 quilogramas, os veículos de 15000 quilogramas ficam automaticamente responsáveis por essas 3 rotas, sendo as restantes testadas para a capacidade de 14260 quilogramas. Isto aplica-se

sucessivamente dependendo da capacidade dos veículos, até 9 veículos estarem associados a 9 rotas, pois embora haja 12 veículos disponíveis, só existem 9 condutores.

Realizando o algoritmo, chegamos a um momento em que todos os pontos estão inseridos em alguma rota e onde todas as restrições do problema são respeitadas. No dia 22 de Março chegou-se aos seguintes resultados:

Rota 1

Neiva 53Km → Ponte da Barca 11Km → Gandra 12Km → Nogueira 20Km → Vila Verde 64Km → Neiva

Distância percorrida: 160Km, 4h

Tempo gasto em descargas: 3h30min

Carga Total: $21+25+12+65+2839+5400+100=8452\text{Kg}$

Veículo: Camião de 9,6T

Analisando esta rota conclui-se que o condutor trabalha 7 horas e trinta minutos, ou seja o seu horário de trabalho completo, o camião transporta 8452 quilogramas, ou seja, tem uma taxa de ocupação de 88%.

Rota 2

Neiva 50Km → Guilhadeses 1Km → Arcos de Valdevez 6Km → Rio Moinho 7Km → São Paio 22Km → Ponte de Lima 10Km → Lanheses 27Km → Neiva

Distância percorrida: 123Km, 3h

Tempo gasto em descargas: 3h30min

Carga Total: $10+942+905+637+75+5247+10476=18292\text{Kg}$

Nota: Guilhadeses tem que ser entregue de Manhã.

Veículo: Camião 18,650T

Analisando esta rota conclui-se que o condutor trabalha 6 horas e trinta minutos, ou seja ainda resta uma hora para entregas urgentes, que são aquelas encomendadas num dia e tem que ser entregues no próprio O camião transporta 18292 quilogramas, ou seja, tem uma taxa de ocupação de 98%.

Rota 3

Neiva 51Km ➔ Lavra 15Km ➔ Maia 34Km ➔ Arcos VCD 35Km ➔ Braga 44Km ➔
Alvarães 4Km ➔ Neiva

Distância percorrida: 183Km, 4h35min

Tempo gasto em descargas: 3h

Carga Total: $711+1977+81+22+435+55=3281\text{Kg}$

Nota: Maia tem que ser entregue de manhã

Veículo: Camião 4,5T

Analisando esta rota conclui-se que o condutor trabalha 7 horas e trinta e cinco minutos, o que significa que o condutor trabalha mais 5 minutos que o seu horário, o que não importa, pois existe uma tolerância de mais 15 ou menos 15 minutos definida pela empresa. O camião transporta 3281 quilogramas, ou seja, tem uma taxa de ocupação de 73%.

Rota 4

Neiva 18Km ➔ Outeiro 25Km ➔ Ancora 8Km ➔ Vilarelho 7Km ➔ Lanhelas 6Km ➔
Caminha 5Km ➔ Moledo 20Km ➔ Meadela 12Km ➔ Neiva

Distância percorrida: 101Km, 2h30min

Tempo gasto em descargas: 4h

Carga Total: $34+8+535+140+1182+168+19+41=2127\text{Kg}$

Nota: A entrega de Moledo tem que ser efetuada pelo camião de 4,1T

Analisando esta rota conclui-se que o condutor trabalha 6 horas e trinta minutos, ou seja ainda resta uma hora para entregas urgentes. O camião transporta 2127 quilogramas, ou seja, tem uma taxa de ocupação de 52%.

Rota 5

Neiva 3Km → Vila Nova de Anha 7Km → Viana do Castelo 5Km → Cabedelo 27Km →
Roriz 20Km → Neiva

Distância percorrida: 62Km, 1h30min

Tempo gasto em descargas: 4h30min

Carga Total: $7500+1+52+1+163+8+4500+621+1925=14771\text{Kg}$

Nota: Maia tem que ser entregue de manhã

Veiculo: Camião 15T

Analisando esta rota conclui-se que o condutor trabalha 5 horas e trinta minutos, ou seja ainda restam duas horas para entregas urgentes. O camião transporta 14771 quilogramas, ou seja, tem uma taxa de ocupação de 99%.

4.3 - Comparação com solução da empresa

Para se fazer uma avaliação dos resultados obtidos, deve-se comparar os resultados obtidos pelos operários da Casa Peixoto, depois analisar os resultados obtidos pela aplicação do algoritmo e finalmente fazer uma comparação entre estes dois.

A solução encontrada pelos funcionários da Casa Peixoto, como era de esperar, foi diferente da encontrada através do algoritmo de Clarke and Wright.

Rotas Definidas com o método atual da empresa:

- 1- Neiva – Guilhadeses - Arcos de Valdevez - São Paio - Rio Moinho - Ponte da Barca – Nogueira - Neiva (127Km)
- 2- Neiva – Maia – Lavra - Arcos VCD – Cabedelo - Neiva (163Km)
- 3- Neiva – Vilarelho – Ancora – Moledo – Braga - Neiva (189Km)
- 4- Neiva – Lanheses - Arcos VCD - Neiva (162Km)
- 5- Neiva - Vila Nova de Anha – Alvarães – Gandra - Ponte de Lima - Viana do Castelo – Meadela - Neiva (109Km)
- 6- Neiva - Vila Verde – Lanhas – Caminha - Neiva (183Km)
- 7- Neiva – Outeiro - Viana do Castelo - Neiva (39,1Km)
- 8- Neiva - Viana do Castelo - Neiva (24Km)

Rotas obtidas através da aplicação do algoritmo de Clarke and Wright modificado:

1. Neiva - Ponte da Barca - Gandra - Nogueira - Vila Verde – Neiva – (160Km)
2. Neiva - Guilhadeses - Arcos de Valdevez - Rio Moinho - São Paio - Ponte de Lima - Lanheses – Neiva – (123Km)
3. Neiva - Lavra - Maia - Arcos VCD - Braga - Alvarães – Neiva – (183Km)
4. Neiva - Outeiro - Ancora - Vilarelho - Lanhas - Caminha - Moledo - Meadela – Neiva – (101Km)
5. Neiva - Vila Nova de Anha - Viana do Castelo - Cabedelo - Roriz – Neiva – (62Km)

Analisando os dois resultados obtêm-se as seguintes conclusões:

Resultados com o método atual:

- Número de rotas: 8

- Número de Veículos Utilizados: 8
- Quantidade de Km: 996,1Km

Resultados com a aplicação do algoritmo:

- Número de rotas: 5
- Numero de Veículos Utilizados: 5
- Quantidade de Km: 629 Km

Comparação:

- Menos 3 Veículos Utilizados;
- Menos 367,1 Km na estrada;
- Fazendo uma comparação obtem-de uma poupança de cerca de 37%.

Olhando para estes resultados e considerando que a Casa Peixoto faz distribuição de Materiais cerca de 300 dias por ano, no final de um ano obtém-se uma poupança muito significativa para a empresa.

5 - Programa Informático

Para implementação do algoritmo desenvolvido na empresa, foi desenvolvido um programa informático em Java. O programa realiza todos os passos explicados anteriormente, mas com a vantagem de demorar poucos segundos a obter a solução.

O programa é constituído por quatro repartições, Camiões/veículos, Zonas/encomendas, Rotas e Definições ou dados da empresa.

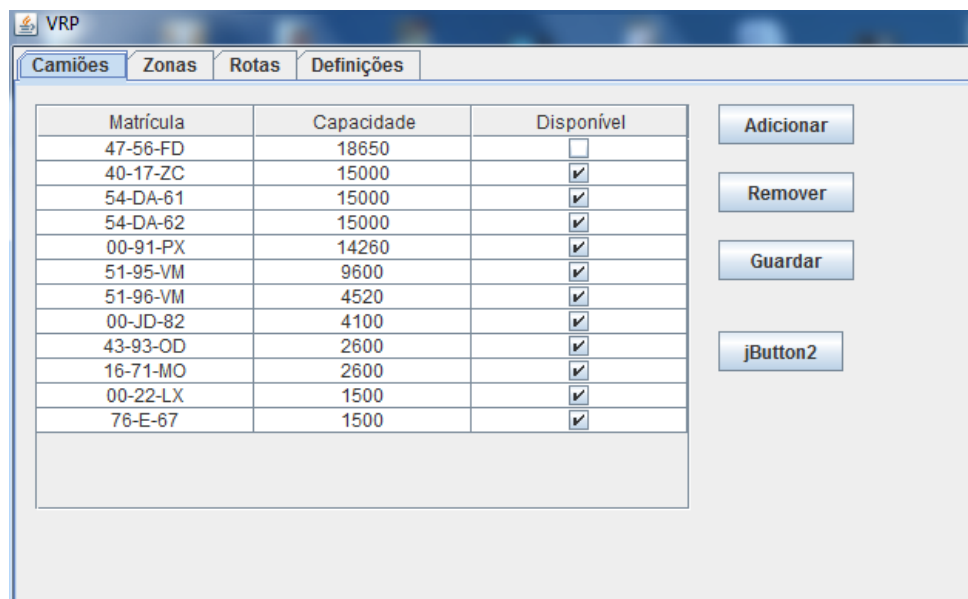


Figura 9 - Repartição "Camiões" do programa

A imagem 14 corresponde ao separador respetivo aos veículos. Neste separador tudo pode ser modificado pelo operador, ou seja, o responsável pelo programa pode adicionar novos veículos ou remover veículos existentes, caso exista uma avaria num determinado veículo ou mesmo o responsável por esse veículo esteja indisponível. Na maior parte dos dias as rotas não são testadas pelo camião de 18650kg de capacidade, para remove-lo do algoritmo basta retirar o visto referente a esse veículo como está representado na coluna "Disponível" da figura anterior.

Para adicionar um veículo basta clicar no botão adicionar, depois disto aparece uma janela para inserir a matrícula do veículo e outra para inserir a sua capacidade, depois de isto ser preenchido o veículo faz parte do algoritmo.

Para remover um veículo de vez, basta seleccionar o pretendido e clicar em remover.

A repartição correspondente às definições ou dados da empresa está representada na imagem 15.

Definições

Nome da zona do armazém:

Código postal da zona do armazém:

Peso máximo do camião pequeno:

Preço por Kilómetro:

Horas diárias:

Número funcionários:

Velocidade média:

Tipo de Zona:

| De | Até | Tipo de Zona |
|------|------|--------------|
| 1000 | 2299 | 2 |
| 2300 | 2599 | 3 |
| 2600 | 2799 | 2 |
| 2800 | 2999 | 3 |
| 3000 | 3499 | 2 |
| 3500 | 4999 | 1 |
| 5000 | 6999 | 2 |
| 7000 | 8999 | 3 |

Volumes:

| Até (kgs) | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 |
|-----------|--------|--------|--------|
| 5.0 | 3.99 | 4.3 | 5.04 |
| 10.0 | 4.46 | 4.68 | 6.24 |
| 20.0 | 4.87 | 5.5 | 7.07 |
| 40.0 | 8.14 | 8.28 | 9.96 |
| 60.0 | 10.58 | 11.41 | 14.38 |
| 80.0 | 12.97 | 14.49 | 17.98 |
| 100.0 | 17.15 | 18.22 | 21.21 |
| 150.0 | 20.21 | 23.59 | 29.43 |
| 200.0 | 21.26 | 30.91 | 36.21 |

Paletes:

| Até (kgs) | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 |
|-----------|--------|--------|--------|
| 700.0 | 21.78 | 29.04 | 39.41 |
| 1400.0 | 41.49 | 53.94 | 73.64 |
| 2100.0 | 58.09 | 78.83 | 107.87 |
| 2800.0 | 71.57 | 103.72 | 142.1 |
| 3500.0 | 88.16 | 128.62 | 176.33 |
| 4200.0 | 104.76 | 149.36 | 200.19 |
| 4900.0 | 121.36 | 170.11 | 224.04 |
| 5600.0 | 137.95 | 190.85 | 247.9 |
| 6300.0 | 154.55 | 211.6 | 271.76 |

Figura 10 - Repartição "Definições" do programa

Na primeira parte da imagem temos vários pontos que passo a explicar o significado e a relevância de cada um.

Nome da zona do armazém e Código postal da zona do armazém

Este é o nome e o código postal onde se situa o armazém a partir do qual a Casa Peixoto vai realizar a sua distribuição. Neiva é o armazém maior e mais importante, mas existem mais dois locais a partir dos quais a empresa faz distribuição, nomeadamente Lisboa e Porto.

Peso máximo do camião pequeno

Aqui é onde se coloca o peso máximo daquele veículo que é considerado o camião pequeno na realização de uma determinada rota. Este veículo pode ser considerado o de 4520kg de capacidade como está representado na imagem, mas também podem existir dias em que o camião pequeno possa ser qualquer um dos que tem capacidade abaixo desta. Se a Rua onde se encontra o cliente for uma rua extremamente pequena, o veículo que é considerado pequeno é o de capacidade de 1500Kg pois é o único que consegue passar em locais muito estreitos. O camião pequeno é considerado aquele que tem capacidade maior, mas que o tamanho não exceda o tamanho da rua/entrada do cliente.

Preço por Quilómetro:

O preço por quilómetro é definido pelos administradores da empresa. Este preço representa o custo médio gasto por quilómetro em todas as entregas realizadas pela empresa. Este custo é calculado através da análise dos gastos em combustível, operários, reparações, portagens, etc. Também é modificável no programa devido as variações das leis e dos preços dos combustíveis.

Número de funcionários:

O número de funcionários representa o número de condutores disponíveis para realizar a distribuição de um determinado dia. Também é alterável, devido a faltas ao trabalho justificadas ou não por parte dos condutores.

Velocidade média:

A velocidade média, representa a velocidade média de todos os veículos enquanto realizam a distribuição. É modificável, pois, se a longo prazo for comprovado que as entregas são mais rápidas do que o esperado, facilmente se altera este item.

Na segunda parte da imagem, estão representados todos os valores relativos ao preço que a transportadora cobra por entregar os produtos em zona Nacional.

Na tabela tipo de zona o país é dividido por zonas, como por exemplo, do código postal 1000 ao 22299 é considerado zona 2, do código postal 2300 ao 2599 é considerado zona 3 e assim sucessivamente.

Na tabela Volumes, estão representados todos os preços por zona em que as encomendas não ultrapassem os 200Kg.

Na tabela Paletes, estão representados todos os preços por zona em que as encomendas pesem mais que 200kg. Onde de 201Kg a 700Kg representa uma paleta, de 701kg a 1400kg representa duas paletes e assim sucessivamente.

Todos estes valores são modificáveis, pois todos os anos o contrato com a transportadora muda e com isso mudam todos os preços.

Estes preços são usados para o operário decidir se uma determinada entrega é realizada pela transportadora ou se é realizada pela própria empresa comparando os custos.

Na repartição “Zonas” é onde são colocadas todas as encomendas para entregar num determinado dia.

| Código Postal | Nome | Núm Encomen... |
|---------------|------------------|----------------|
| 4480-081 | Avore | 1 |
| 4750-825 | Barcelos | 1 |
| 4750-768 | Ucha | 1 |
| 4775-206 | Barcelos1 | 1 |
| 4755-403 | Pereira | 3 |
| 4980-686 | Touvedo | 1 |
| 4980-000 | Ponte da Barca | 3 |
| 4905-000 | Geraz do Lima | 1 |
| 4755-377 | Paradela | 2 |
| 4455-518 | Peralta | 1 |
| 4970-100 | Cabreiro | 1 |
| 4970-768 | Arcos Valdevez | 2 |
| 4935-885 | Vila Rica | 1 |
| 4935-433 | Mazarefes | 1 |
| 4900-347 | Viana do Castelo | 1 |

| Peso | Entrega | Camião Pequ... | Disponível |
|-------|-------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 26.79 | Indiferente | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 7.28 | Indiferente | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 20.65 | Indiferente | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

Figura 11 - Repartição "zonas" do programa

Para adicionar uma encomenda, primeiro adiciona-se o Código Postal dessa mesma encomenda, depois adiciona-se o nome da zona e por último adiciona-se o peso da encomenda. Quando isto tudo está inserido, aparece uma janela onde se coloca as restrições, ou seja, onde se coloca se a encomenda tem especificações em relação ao horário de entrega ou ao tamanho do veículo a ser utilizado.

Esta parte do programa permite ao utilizador adicionar ou remover zonas, adicionar ou remover encomendas nas respetivas zonas e recomeçar um novo dia

apagando tudo inserido no dia anterior. Antes de passar para o separador das rotas todas as zonas devem ser gravadas.

Na repartição “Rotas” é onde o operador chega ao resultado final e onde tira todas as conclusões.

| Rota | Tempo | Peso Total | Distancia Total | Camião | Capacidade | Preço CP | Preço Transp |
|------|--------|------------|-----------------|----------|------------|----------|--------------|
| 1 | 529,2 | 6103,86 | 212,8 | 54-DA-61 | 15000 | 191,52 | 244,66 |
| 2 | 470,85 | 17052,76 | 153,9 | 47-56-PD | 18650 | 139,51 | 346,76 |
| 3 | 513 | 5617,92 | 162 | 00-91-PX | 14260 | 145,8 | 228,23 |
| 4 | 536,7 | 5811,1 | 257,8 | 40-17-ZC | 15000 | 232,02 | 196,9 |
| 5 | 536,1 | 5395,29 | 117,4 | 51-95-VM | 9600 | 105,66 | 294,02 |
| 6 | 180,9 | 2014,13 | 40,6 | 43-93-OD | 2900 | 36,54 | 91,84 |
| 7 | 275,1 | 6521,46 | 43,4 | 54-DA-62 | 15000 | 39,06 | 240,47 |

| Nome Zona | Peso Encomenda | Hora Entrega | Camião Pequeno |
|-----------|----------------|--------------|--------------------------|
| Barcelos1 | 19,65 | Indiferente | <input type="checkbox"/> |
| Balazar | 3069,4 | Indiferente | <input type="checkbox"/> |
| Oliveira | 894,97 | Indiferente | <input type="checkbox"/> |
| Vizela | 1773,0 | Indiferente | <input type="checkbox"/> |
| Lousada | 53,14 | Indiferente | <input type="checkbox"/> |
| Perafita | 192,3 | Indiferente | <input type="checkbox"/> |
| Alvore | 101,4 | Indiferente | <input type="checkbox"/> |

Figura 12 - Repartição "rotas" do programa

Depois de todas as zonas estarem inseridas e guardadas, o operador clica no botão “Obter Rotas” e como demonstra na figura 17.

Esta parte do programa não demonstra só as rotas, mas também o tempo que a rota demora, o peso total dessa rota, a distância total percorrida por esse veículo, a matrícula e a capacidade do veículo da empresa, o custo gasto pela Casa Peixoto e por ultimo o custo gasto se a rota for pela Transportadora. Aparecem também as encomendas que ficam de fora, que vão ter que ser entregues no dia seguinte.

O objetivo futuro da empresa é desenvolver o programa de modo a que o sistema fique interligado ao programa não sendo necessário inserir as encomendas manualmente, evitando assim erros humanos. Depois disto estar acabado é necessário ligar o programa ao sistema de GPS de todos os veículos, ficando tudo a ser realizado automaticamente. O objetivo é que os condutores se limitem a seguir instruções do GPS para não existirem mais gastos desnecessários em transportes e melhorar o sistema de entregas e a satisfação dos clientes.

6 - Conclusão

Nesta dissertação abordou-se um problema de encaminhamento de veículos numa empresa de construção. Foi desenvolvida uma heurística baseada na heurística de Clarke and Wright que tem em conta diversos aspectos práticos do problema de encaminhamento de veículos real.

A heurística foi implementada e testada com dados reais o que permitiu concluir que as soluções por ela fornecidas são significativamente melhores do que as obtidas actualmente na empresa, permitindo assim poupanças bastantes significativas e um aumento da satisfação dos clientes.

O programa vai passar a ser utilizado no dia a dia da empresa, estando previsto o início da sua integração no sistema de informático da empresa no dia 1 de Novembro com a ajuda de toda a equipa de engenheiros informáticos e do departamento de logística para que esta seja uma implementação eficaz e com o menor número de falhas possível.

Bibliografia

Beasley, J., (1983), "Route First - Cluster Second Methods for Vehicle Routing", Omega Vol. 11, pp. 403-408.

Braibsy, O., and Gendreau, M., (2001), "Tabu Search Heuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows". Internal Report STF42 A01022, SINTEF Applied Mathematics, Department of Optimisation, Oslo, Norway.

Christofides, N., Mignozzi, A., and Toth, P., (1979), "The Vehicle Routing Problem", N. Christofides, A. Mignozzi, P. Toth, C. Sandi (Eds.), Combinatorial Optimization, Ch. 11, Wiley, Chichester.

Clarke, G., and Wright, J., (1964), "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, Operations Research, Vol. 12, pp. 568-581.

Cordeau, J.-F., Laporte, G., and Mercier, A., (2001), "A Unified Tabu Search Heuristic for Vehicle Routing Problems with Time Windows", Journal of the Operational Research Society, Vol. 52, pp. 928-936.

Goetschalckx, M., and Jacobs - Blecha, C., (1989), "The Vehicle Routing with Backhauls", European Journal of Operational Research, Vol. 42, pp. 39-51.

Golden, B.L., S. Raghavan, E.A. Wasil, eds. 2008. The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges. Springer.

Laporte, G., (1992), "The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms", European Journal of Operational Research, Vol. 59, pp. 345 - 358.

Lin, S. 1965. Computer solutions of the travelling salesman problema. Bell System Technical Journal 44(10) 2245-2269

Lin, S., B.W. Kernighan. 1973. An effective heuristic algorithm for the traveling-salesman problem. Operations research 21(2) 498-516

Mole, R., and Jameson, S., (1976), "A Sequential Route-Building Algorithm Employing A Generalized Savings Criterion", Operation Research Quarterly, Vol. 27, pp. 503-511.

NOVAES, Antônio G. *Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação*. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

Or, I. 1976. Traveling salesman-type combinatorial problems and their relation to the logistics of regional blood banking. Ph.D. thesis, Northwestern University, Evanston, IL.

Renaud, J., Laporte, G., and Boctor, F.F., (1996), "A Tabu Search Heuristic for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem", *Computers & Operations Research*, Vol. 23 (3), pp. 229-235.

Thompson, P.M., H.N. Psaraftis. 1993. Cyclic transfer algorithms for multivehicle routing and scheduling problems. *Operations research* 41(5) 935-946

Toth, P., and Vigo, D., (2002b), "The Vehicle Routing Problem", *Monographs on Discrete Mathematics and Applications* 9, Siam.

ANEXOS


ANEXO 1 – Exemplo Encomenda

E 802 Guia de remessa

| | | | | |
|---|---|---|--|--|
| Encomendado Por 505957450 | À Atenção de 505957450 | Facturar a 505957450 | Data 2013-09-23 | Nossa Ref. 40024986 |
| Imobiliária Quinta das Mouramas Lda SEIXAS, LIGAR 917845386 Rua Nova S. Bento 10 4900-472 VIANA DO CASTELO Portugal | Imobiliária Quinta das Mouramas Lda SEIXAS, LIGAR 917845386 OBRAS DE SEIXAS LIGAR 917845386 4910-344 SEIXAS CMN | Imobiliária Quinta das Mouramas Lda SEIXAS, LIGAR 917845386 Rua Nova S. Bento 10 4900-472 VIANA DO CASTELO Portugal | <input checked="" type="checkbox"/> Encomenda <input checked="" type="checkbox"/> Entregue <input checked="" type="checkbox"/> Facturado <input checked="" type="checkbox"/> Pago | 2013-09-23 2013-09-23 2013-09-23 |
| Guia de remessa 12071974 | A sua referência OC: 40024986 | Criado por Artur Jorge Carvalh | 2013-09-23 | |
| Data de entrega 2013-09-23 | Descrição | Modificado por Artur Jorge Carvalh | | |
| Código de selecção | Recurso Jorge Pedra Amorim | | | |
| Agrupar por : Produto <input type="checkbox"/> | Concluído | | | |

| Linha | Código do produto | Descrição | Entregue | Pacote | Armazém | Planeado | Número de projecto |
|-------|-------------------|---|----------|--------|---------|------------|--------------------|
| 1 | 032036 | AREIA FINA 2,5M3 «JD» | | 1 UN | 0101 | 2013-09-23 | |
| 2 | 892438 | TAMPA F.RASA B125 50x50 P/12500KG SANEAMENTO» | | 3 UN | 0101 | 2013-09-23 | |
| 3 | 325848 | TAMPA F.REB.A15 BASALTO 50x50 P/1500KG» | | 3 UN | 0101 | 2013-09-23 | |
| 4 | 1704741 | PVC ARO 40x40 | | 5 UN | 0101 | 2013-09-23 | |
| 5 | 1482371 | WEBER.COL.FLEX L BRANCO 25KG | | 10 UN | 0101 | 2013-09-23 | |
| 6 | 295103 | TAMPA F.RASA B125 60x60 P/12500KG» | | 3 UN | 0101 | 2013-09-23 | |
| 7 | 1704717 | PVC GRELHA P/ARO 40x40 | | 5 UN | 0101 | 2013-09-23 | |
| 8 | 60 | A 60 dias | | 1 - | 0101 | 2013-09-23 | |

ANEXO 2 – Exemplo Mapa de Carga

| | | |
|---|------------------|----------------------|
|  | Documento: | Mapa de Carga |
| | Mapa de Carga Nr | 371346 |
| | Data entrega | 2013-09-23 0:00:00 |
| | Viatura | 00-JD-82 |
| | Peso de Carga | 4,984.58 |

Encomenda nr 40024986

| | | | |
|-------------|------------|--------------|--------------------------------|
| Cod Cliente | 128926 | Nome Cliente | Imobiliária Quinta das Mourama |
| Localidade | SEIXAS CMN | | |

| Cod Artigo | Artigo | Cod Barras | Lote | Qtd enc | Qtd Entregue | Un | Local |
|------------|--|---------------|------|---------|--------------|----|--------|
| 1704717 | PVC GRELHA P/ARO 40x40 | 2000017047171 | | 5.00 | 5.00 | UN | Efacec |
| 295103 | TAMPA FRASA B125 60X60 P/12500KG» | 2000002951032 | | 3.00 | 3.00 | UN | Efacec |
| 1482371 | WEBER.COL.FLEX L.BRANCO 25KG | 2000014823716 | | 10.00 | 10.00 | UN | Manual |
| 1704741 | PVC ARO 40x40 | 2000017047416 | | 5.00 | 5.00 | UN | Efacec |
| 325848 | TAMPA FREE.A15 BASALTO 50x50 P/1500KG» | 2000003258482 | | 3.00 | 3.00 | UN | Efacec |
| 892438 | TAMPA FRASA B125 50x50 P/12500KG SANEAMENTO» | 2000008924382 | | 3.00 | 3.00 | UN | Efacec |
| 032036 | AREIA FINA 2,5M3 «JD» | 2000000320366 | | 1.00 | 1.00 | UN | Manual |